

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
студентами всіх форм навчання першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти навчання при вивченні
дисципліни «Електричні апарати автоматики
та керування»
для підготовки бакалаврів за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
з подальшим навчанням за освітньою програмою
«Електричні та електронні апарати»
Частина 1

2022

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт студентами всіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти навчання при вивченні дисципліни «Електричні апарати автоматики та керування» для підготовки бакалаврів за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з подальшим навчанням за освітньою програмою «Електричні та електронні апарати». Частина 1 / Укл.: Жорняк Л. Б., Антонова М. В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 62 с.

Укладачі:

Л. Б. Жорняк, доцент, к.т.н.
М. В. Антонова, ст. викладач

Рецензент:

О. І. Афанасьєв, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск:

В. В. Василевський, ст. викладач

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електричні і електронні апарати”.
Протокол № 1
від 29 серпня 2022 р.

Рекомендовано до видання
НМК ЕТФ.
Протокол № 1
від 8 вересня 2022 р.

ЗМІСТ

Вступ. Загальні вимоги щодо виконання, оформлення та захисту звітів про виконання лабораторних робіт.....	5
1 Лабораторна робота №1 Дослідження електромагнітного реле постійного струму.....	8
1.1 Мета роботи.....	8
1.2 Загальні відомості.....	8
1.3 Порядок виконання лабораторної роботи та опис лабораторної установки.....	12
1.4 Вказівки по техніці безпеки.....	13
1.5 Контрольні питання.....	13
2 Лабораторна робота №2 Дослідження електромагнітного реле змінного струму.....	14
2.1 Мета роботи.....	14
2.2 Загальні відомості.....	14
2.3 Порядок виконання роботи.....	16
2.4 Вказівки по техніці безпеки.....	17
2.5 Контрольні питання.....	18
3 Лабораторна робота №3 Дослідження поляризованих реле...	19
3.1 Мета роботи.....	19
3.2 Загальні відомості.....	19
3.3 Опис лабораторного стенду.....	23
3.4 Порядок виконання роботи.....	23
3.5 Вказівки з техніки безпеки.....	27
3.6 Контрольні питання.....	27
4 Лабораторна робота №4 Дослідження герконового реле.....	28
4.1 Мета роботи.....	28
4.2 Загальні відомості.....	28
4.3 Порядок виконання роботи.....	30
4.4 Вказівки з техніки безпеки.....	31
4.5 Контрольні питання.....	31
5 Лабораторна робота № 5 Дослідження ємнісного датчика....	33
5.1 Мета роботи.....	33
5.2 Загальні відомості.....	33

5.3 Порядок виконання роботи.....	35
5.4 Вказівки з техніки безпеки.....	36
5.5 Методичні рекомендації до розрахунків.....	36
5.6 Контрольні питання.....	38
6 Лабораторна робота №6 Дослідження потенціометричного датчика.....	39
6.1 Мета роботи.....	39
6.2 Загальні відомості.....	39
6.3 Порядок виконання роботи.....	42
6.4 Вказівки з техніки безпеки.....	45
6.5 Контрольні питання.....	45
7 Лабораторна робота №7 Дослідження індуктивного датчика переміщення.....	46
7.1 Мета роботи.....	46
7.2 Загальні відомості.....	46
7.3 Порядок виконання роботи.....	48
7.4 Вказівки з техніки безпеки.....	52
7.5 Контрольні питання.....	52
7.6 Додаток.....	53
8 Лабораторна робота №8 Дослідження моделі електромагнітного реле з магнітокерованими контактами.....	54
8.1 Мета роботи.....	54
8.2 Загальні відомості.....	54
8.3 Порядок виконання роботи.....	56
8.4 Вказівки з техніки безпеки.....	60
8.5 Контрольні питання.....	61
Перелік джерел посилань.....	62

ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ЩОДО ВИКОНАННЯ, ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАХИСТУ ЗВІТІВ ПРО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

До електричних апаратів автоматики та керування відносяться різноманітні електронні та електромеханічні реле, датчики і різні виконавчі пристрої (електромагнітні клапани, муфти, перетворювачі, підвіси, опори), командна апаратура (кінцеві і шляхові вимикачі, поворотні вимикач тощо).

Апарати автоматики – це слаботочні реле, датчики, підсилювачі, перетворювачі, контролери тощо широко використовуються як засоби автоматизації у всіх галузях техніки. Вони працюють за умови невисокої напруги (до сотень вольт) і струмах (до 5 А) і зазвичай виконують функції контролю будь-якого електричного параметра (наприклад, реле) та неелектричного вхідного параметра (наприклад, датчики). Коли вхідний (контрольований) параметр реле досягає заданої значення, відбувається спрацювання електричного реле і «видача сигналу» на виході.

Апарати керування призначені для частих оперативних відключень та включень нормальних струмів навантаження та нечастих відключень струмів навантаження, які зазвичай перевищують номінальні в 5...20 разів. Для поліпшення умов комутації струму в апаратах керування іноді застосовують напівпровідникові прилади, які шунтують механічні контакти. У таких гібридних апаратах тривале проведення струму здійснюють контакти, тоді як напівпровідникові прилади фактично знеструмлені.

Автоматичні вимикачі, запобіжники, теплові реле, апарати, керовані диференційним струмом, часто виділяють в окрему групу – апарати захисту.

Метою проведення лабораторних робіт з дисципліни «Електричні апарати автоматики та керування» (ЕАА та К) є:

- поглиблення, розширення та закріплення знань студентів по основним розділам курсу, а саме знань по принципах роботи та будови найбільш розповсюджених апаратів автоматики та керування, а також знань про фізичні процеси, які відбуваються протягом їх роботи;

- вивчення лабораторних стендів аудиторії кафедри ЕЕА, проведення досліджень з електричними та електронними апаратами;

- вивчення принципу роботи та будови конструкції апаратів та

пристроїв, досліджування фізичної суті явищ, що відбуваються в електричних апаратах низької напруги загалом, а також в схемах апаратів;

- придбання навичок випробувань та дослідження апаратів автоматики;

- удосконалювання навичок обробки та оформлення результатів експерименту;

- формування у студентів навиків та умінь, що дозволять їм в подальшому на практиці здійснювати проектування, виробництво та експлуатацію електричних апаратів автоматики та керування та використовувати отриманні знання для створення більш сучасних та досконалих електротехнічних пристроїв.

Для всіх лабораторних робіт використовується універсальні стенди, які укомплектовані мобільними блоками різних лабораторних робіт, що дозволяє використовувати їх при проведенні всіх лабораторних робіт по курсу.

При виконанні всіх лабораторних робіт необхідно бути уважним і виконувати усі вимоги викладача і технічного персоналу лабораторії, що стосуються виконання лабораторних робіт. Також треба неухильно дотримувати правила безпеки, поведінки, передбаченої для лабораторних приміщень університету, а також загальні норми поведіння. Перед виконанням лабораторної роботи необхідно уважно ознайомитися з описом лабораторної роботи і стенда. Не вмикати установку без дозволу викладача, який проводить заняття. У випадку виявлення позаштатної ситуації (запах горіння, поява диму, іскріння тощо) необхідно виключити автоматичний вимикач QF на передній панелі стенда і сповістити про це викладача. Не усувати самостійно несправності, що виникли в процесі виконання роботи. Після закінчення роботи виключити автоматичний вимикач QF.

Виконання лабораторних робіт може проводитись студентами у навчальній лабораторії або дистанційно, а також самостійного вивчення теоретичного матеріалу у рекомендованій літературі, яку можна подивитися за посиланнями <http://eir.zp.edu.ua/handle/123456789/488> на сайті університету, або <https://zp.edu.ua/kafedra-elektrichnih-ta-elektronnih-aporativ> на сайті кафедри. Активна самостійна робота є визначальним чинником ефективного сприйняття змісту лабораторних занять.

Звіти про виконання лабораторних робіт складаються окремо

кожним студентом в одному файлі, або в друкованому вигляді.

Зміст кожного звіту включає:

- мета роботи, предмет дослідження;
- завдання щодо виконання лабораторної роботи;
- електрична схема проведення випробувань та дослідів;
- таблиці дослідних даних;
- графіки залежностей, побудованих за дослідними даними;
- висновки по роботі;
- відповіді на контрольні питання.

Захист звітів про виконання лабораторних робіт здійснюється студентами або одночасно бригадою (за умови очної форми навчання), або дистанційно кожним студентом особисто в системі <https://moodle.zp.edu.ua> за своїм особистим паролем, але оцінку відповідей на контрольні запитання та якості виконання кожним студент отримує окремо.

Студенти, які не виконали всі лабораторні роботи, або не захистили всі звіти про виконання лабораторних робіт, передбачених навчальним планом та робочою програмою навчальної дисципліни, не допускаються до заліку та екзамену.

Примітки:

1. Виконання лабораторних робіт у лабораторії здійснюється за розкладом, затвердженим проректором з навчальної роботи.

2. Проведення досліджень під час виконання лабораторної роботи за умови очної форми навчання здійснюється членами бригади разом.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НЕЙТРАЛЬНОГО РЕЛЕ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години

1.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи і конструкції електромагнітного реле постійного струму, визначити параметри реле (коефіцієнт повернення, запасу, підсилення, розгалуження кіл), релейну характеристику.

1.2 Загальні відомості

Реле широко застосовуються в пристроях автоматичного керування, контролю, сигналізації, захисту та комутації. В залежності від фізичної природи сигналу, що керує, реле розрізняються на електричні, теплові, механічні, оптичні магнітні, акустичні тощо. Електричні реле реагують на такі електричні параметри як струм, напруга, потужність, електричний струм, тощо, або ж на температуру, кількість теплоти тощо.

Електричне реле – апарат, призначений виконувати стрибкоподібні зміни у вихідних колах при заданих електричних величинах, які діють.

Електромеханічне реле – електричне реле, робота якого основана на взаємодії магнітного поля нерухомої обмотки з рухомим феромагнітним елементом.

Електромагнітні нейтральні реле постійного струму є одними з основних елементів систем автоматики, телемеханіки, захисту і тощо. З їх допомогою здійснюється необхідна взаємодія і послідовність у роботі окремих частин систем (приладів, блоків, пристроїв), захист, підсилення, розмноження кіл, перемикання з затримкою часу чи уповільнення, швидкодіюче перемикання і тощо.

На рисунку 1.1 наведено найпростішу конструкцію електромагнітного реле з контактом, що замикає, та консольно закріпленими контактними пружинами. Тут зазор між контактами

позначений як β , зазор між полюсом та якорем, як δ . Причому $\delta > \beta$. Реле постійного струму зазвичай мають штифт відлипання (або немагнітну прокладку), який служить для запобігання «залипання» якоря реле через залишкову намагніченість внаслідок тривалої роботи у включеному стані. Інколи замість немагнітної прокладки в якорі видавлюється опуклість. Для зменшення площі зіткнення з осердям (це не впливає на якість роботи реле постійного струму, оскільки значення струму при цьому не залежить від зазору між якорем і осердям) у сучасних реле застосовується еластична полімерна немагнітна прокладка.

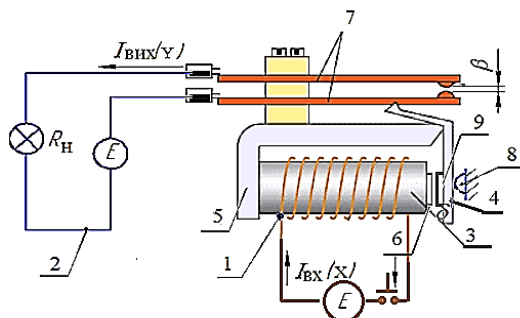


Рисунок 1.1 – Спрощена конструкція електромагнітного реле:

- 1 – обмотка кола керування; 2 – коло комутації (навантаження);
 3, 4, 5 – магнітне коло (3 – осердя, 4 – якор, 5 – ярмо); 6 – полюсний наконечник;
 7 – контакт-деталі; 8 – упор; 9 – штифт відлипання.

Релейні елементи характеризуються параметрами, що відносяться до вхідних та вихідних впливів:

– *спрацьовування* – це мінімальне значення впливу (електричного сигналу) на вході, при такому його зростанні, коли релейний елемент змінює свій стан і одночасно впливає на виході відповідно до релейної характеристики;

– *відпускання* – це мінімальне значення впливу (електричного сигналу) на вході, при такому його зменшенні, коли релейний елемент повертається до свого початкового стану.

У зв'язку з не ідеальністю релейної характеристики ці величини зазвичай не збігаються одна з одною (петля гістерезису). У ряді випадків релейний елемент може мати властивості фіксації, тобто залишатися в зайнятому їм стані і після зняття впливу на вході. У цьому

випадку релейний елемент повертається в початковий стан зазвичай після подачі на інший його вхід (або подачі протилежного знаку сигналу на той же вхід) (рисунок 1.2).

На рисунку 1.2 представлені типові характеристики керування апаратів релейного принципу дії.

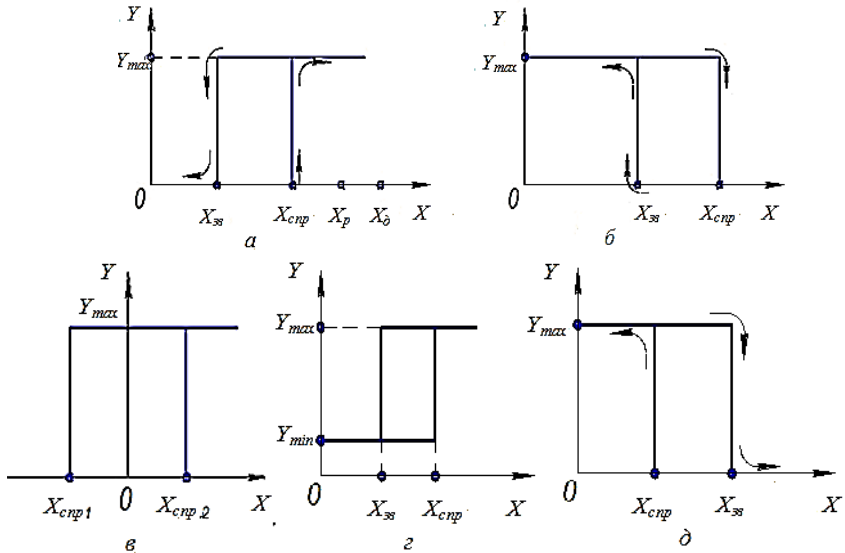


Рисунок 1.2 – Типові характеристики керування апаратів релейного принципу дії:

$a, б, в, д$ – електромеханічних; $г$ – статичних електричних;
 $a, б, г, д$ – одностабільних; $в$ – двостабільних; $a, б, г$ – максимальних;
 $д$ – мінімальних; $a, г, д$ – тих, що працюють на замикання;
 $б$ – тих, що працюють на розмикання

На цих рисунках прийняті такі позначення: $X_{сп}$ – параметр спрацювання; $X_{зв}$ – параметр повернення (зворотній); X_p – робочий сигнал (параметр); Y_{max} , Y_{min} – максимальне і мінімальне значення вихідного сигналу (параметра); X_d – допустиме значення сигналу. У реле змінного струму штифт відлипання і полюсний наконечник відсутні, а у магнітній системі передбачено скранування частини магнітного полюса для розділення загального магнітного потоку.

Максимальне значення такого впливу при його зростанні, що

викликає повернення релейного елемента у початковий стан, називається параметром повернення. Співвідношення параметра відпускання та параметра спрацьовування називається *зворотнім коефіцієнтом (відпускання)*:

$$K_{зв} = \frac{X_{зв}}{X_{спр}} < 1.$$

Чим ближче до одиниці значення коефіцієнта повернення, тим у більш вузьких межах реле здійснюватиме контроль вхідного параметра.

Робоче значення величини впливу X_p – це максимальне значення, під впливом якого сприймаючий елемент може перебувати довго, не перегріваючись (не руйнуючись).

Коефіцієнт запасу зі спрацьовування $K_з$ – це співвідношення робочого значення впливу та величини спрацьовування:

$$K_з = \frac{X_p}{X_{спр}} > 1.$$

Коефіцієнт розмноження ланцюгів K_l – це співвідношення вихідних кіл (кількість пар контактів) та вхідних кіл (кількість котушок, або кіл керування):

$$K_l = \frac{n_{конт}}{n_{кер}}$$

Характеристикою релейного елемента служить так само *швидкодія*, що визначається часом спрацьовування і часом відпускання або повернення. У ряді випадків важливими характеристиками релейного елемента є: споживання енергії, вага, об'єм, що займається тощо.

Потужність спрацьовування $P_{спр}$ – це потужність, що споживається реле при його спрацьовуванні.

Потужність керування $P_{кер}$ – це електрична потужність вихідного кола, яку виконавчий елемент може пропускати тривалий час, що відповідає Y_{max} . У контактних реле – це потужність, яку контакти зможуть комутувати при номінальній напрузі.

Коефіцієнт підсилення – це співвідношення потужності керування до потужності спрацьовування

$$K_{ni\partial c} = \frac{P_{ker}}{P_{cnp}}.$$

1.3 Порядок виконання лабораторної роботи та опис лабораторної установки

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен:

- самостійно вивчити методичні вказівки і повторити розділ курсу лекцій або літературних джерел про реле постійного струму;
- підготувати таблицю 1.1;
- зібрати схему рисунку 1.3;
- після перевірки схеми викладачем включити напругу і зняти значення $I_{\text{спр}}, U_{\text{спр}}, I_{\text{зв}}, U_{\text{зв}}, I_{\text{роб}}, U_{\text{роб}}$, дані занести в таблицю 1.1;
- розрахувати коефіцієнти: K_z – коефіцієнт запасу по спрацьовуванню; $K_{\text{зг}}$ – коефіцієнт повернення (відпускання) реле; $K_{\text{л}}$ – коефіцієнт розгалуження кіл; $K_{\text{підс}}$ – коефіцієнт підсилення.

Потужність на виході реле розраховувати за формулою:

$$P_{вих} = U_{конт} \cdot I_{ком.кола.},$$

де $U_{\text{конт.}}$ – це напруга на контактах до замикання (прийняти 220 В);

$I_{\text{КОМ.КОЛА}}$ – це струм у комутуючого ланцюгу, прийняти рівним 5А.

Побудувати релейну характеристику реле.

Таблиця 1.1 – Результати вимірів і розрахунків

[illegible]

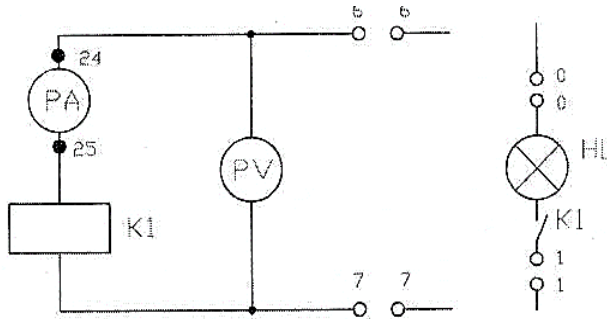


Рисунок 1.3 –Принципова схема досліджень

1.4 Вказівки по техніці безпеки

Всі перемикання в схемі виконувати при виключеному автоматі стенду QF. Чітко дотримувати інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

1.5 Контрольні питання

1.5.1. Дайте визначення електричного, електромеханічного та електромагнітного реле.

1.5.2. Призначення, визначення реле та сфери застосування.

1.5.3. Дайте визначення коефіцієнтів $K_{\text{л}}$, $K_{\text{зв}}$, $K_{\text{відс}}$, $K_{\text{з}}$.

1.5.4. Які основні види магнітних систем застосовуються в нейтральних електромагнітних реле постійного струму?

1.5.5. Що розуміють під величинами робочими, допустимими, спрацювання та відпускання?

1.5.6. За якими параметрами оцінюють якість реле, його чутливість та гістерезисні властивості?

1.5.7. Що розуміють під протидіючою, навантажувальною та тяговою характеристикою?

1.5.8. Що означає погодження протидіючої та тягової характеристик?

1.5.9. Яке призначення штифта відлипання?

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО РЕЛЕ ЗМІННОГО СТРУМУ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

2.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи і конструкції електромагнітного реле змінного струму, визначити параметри реле (коефіцієнт повернення, запасу, підсилення, розгалуження кіл), релейну характеристику.

2.2 Загальні відомості

Реле максимального струму використовуються в релейних пристроях керування та протиаварійної автоматики. Вони реагують на збільшення струму. В реле серії РТ-40 використовується одна з різновидів електромагнітної системи, яка називається системою з поперечним рухом якоря (рисунок 2.1). Магнітна система реле складається з багатошарового магнітопроводу П-типу 5 і якоря Г-типу 3, що обертаються на двох напівосях 6. Якір реле утримується у вихідному положенні протидіючою спіральною пружиною 7, один кінець якої пов'язаний до якоря, а інше – стрілкою уставки 8. При обертанні стрілки уставки змінюється момент протидії пружини і відповідно робочий струм реле. Необхідне положення покажчика визначається поділками, відкаліброваними на шкалі 9. На арматурі встановлено пластиковий блок 10 з рухомою контактною перемичкою 11. У верхній частині кронштейна 2, відносно арматури, встановлено порожнистий барабан 1. Барабан має внутрішні радіальні перегородки і засипаний сухим кварцовим піском. На магнітопроводі розташовані котушки 4. Ці кінці виходять на затискачі основи реле. На цих затискачах можна здійснювати перевірку перемичок на паралельне чи послідовне з'єднання котушок і відповідно змінювати величину установок робочого струму в два рази. Цифри, що відкалібровані за шкалою, відповідають послідовному з'єднанню котушок. Всі елементи реле змонтовані на корпусі з алюмінієвого сплаву, закріпленому на пластиковій основі та закритому прозорим корпусом.

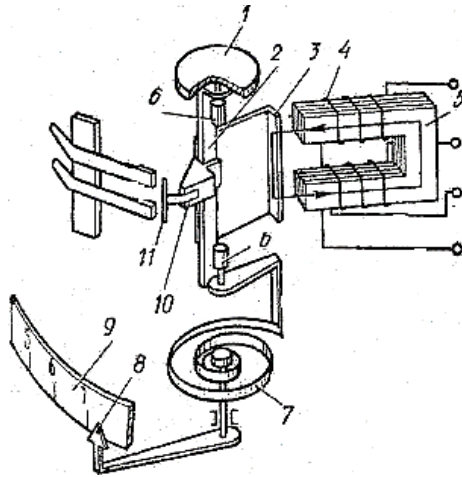


Рисунок 2.1 – Механічна схема реле РТ-40

При протіканні струму по обмотці реле створюється магнітний потік, який замикається через осердя та якір. Потік, проходячи повз якір, намагнічує його. Електромагнітна сила, пропорційна квадрату магнітного потоку, притягує якір до полюсів осердя; контакти реле в цей момент замкнуті. Кут повороту якоря реле 2 обмежений опорами 1 і 3 (рисунок 2.2). Якщо правої опори 1 немає, то під дією електромагнітного моменту якір повернеться на кут 90° . Воно буде відповідати максимальному значенню магнітного потоку в повітряному зазорі. При цьому електромагнітний момент буде дорівнювати нулю. Для забезпечення необхідного тиску на контактах спрацювання реле повинно здійснюватися в певних межах кутів повороту якоря. Для реле РТ-40 кути повороту якоря встановлюються приблизно 60° в початковому положенні і 75° в кінцевому положенні якоря (α_n і α_k на рисунку 2.2).

Така конструкція реле має високий коефіцієнт відпускання (зворотній) – близько 0,8.

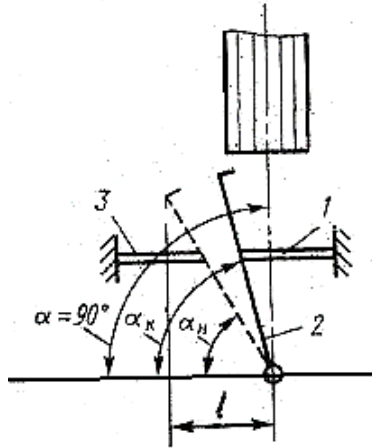


Рисунок 2.2 – Розташування арматури під полюсами реле

2.3 Порядок виконання роботи

Перед виконанням студент повинен:

- вивчити відповідні методичні рекомендації та повторити в лекціях розділ про реле змінного струму;
- підготувати таблицю 2.1 (для паралельного та послідовного з'єднання котушок);
- підключити схему (рисунок 2.3) для паралельних та послідовних вимірювань;
- після перевірки кола викладачем послідовно підвищувати чи знижувати напругу та вимірювати значення: при різних значеннях уставок робочого струму, після чого заповнити даними таблицю 2.1 (такі вимірювання проводити для паралельного та послідовного з'єднань);
- розрахувати коефіцієнт скидання реле K_{res} ;
- побудувати графіки функцій.

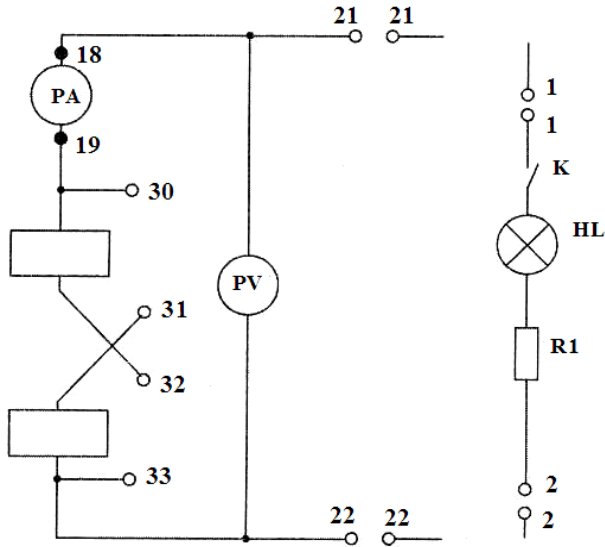


Рисунок 2.1- Принципова схема досліджень

Таблиця 2.1 – Дані вимірювань і розрахунків

З'єднання катушок	Послідовне з'єднання					Паралельне з'єднання				
$I_{\text{уст}}, \text{ A}$	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
$I_{\text{спр}}, \text{ A}$										
$I_{\text{зв}}, \text{ A}$										
$K_{\text{зв}}$										

2.4 Вказівки по техніці безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримуватися інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

2.5 Контрольні питання

- 2.5.1. Які конструктивні особливості реле змінного струму в порівнянні з реле постійного струму ?
- 2.5.2. Які типи реле застосовують в колах змінного струму ?
- 2.5.3. Яка причина вібрації якоря реле змінного струму ?
- 2.5.4. Що застосовують для усунення вібрації якоря ?
- 2.5.5. Які конструктивні рішення прийняті в реле РТ – 40 для усунення вібрації якоря ?
- 2.5.6. Поясніть конструкцію реле РТ – 40 .
- 2.5.7. Чим відрізняється процес ввімкнення реле змінного струму від процесу вмикання реле постійного струму?
- 2.5.8. Як регулюється уставка струму реле РТ – 40 ?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗОВАНИХ РЕЛЕ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

3.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи і конструкції поляризованого реле визначити тип настройки реле і параметри спрацьовування. визначити параметри реле (коефіцієнт повернення, запасу, підсилення, розгалуження кіл), релейну характеристику.

3.2 Загальні відомості

Електромагнітне поляризоване реле – це реле постійного струму, зміна стану якого залежить від полярності його вхідної діючої величини. Вони мають високу чутливість, великий коефіцієнт керування, високу швидкість спрацьовування (до 2 мс), малі викривлення імпульсів, також можуть бути використані для роботи зі струмами одного чи двох напрямків. Такі реле застосовують в радіоелектронній апаратурі, автоматичі, телемеханіці і електрозв'язку. До того ж, з їх допомогою здійснюється комутація, підсилення імпульсів, безперервне керування реверсивними двигунами.

Принцип роботи електромагнітного поляризованого реле оснований на взаємодії поляризовуючого і робочого магнітних потоків з якорем реле.

Поляризовані реле бувають одностабільними та двостабільними, а також відрізняються по типу регулювання. Двостабільні в свою чергу бувають з двопозиційним та трьохпозиційним регулюванням.

При роботі реле якір може займати декілька положень, і в двопозиційному регулюванні з переважанням якір знаходиться завжди в одному положенні, якщо струм в робочій обмотці відсутній. Переважання можна забезпечити або налагодженням, або механічно, наприклад, пружиною. В двопозиційному реле без переважання, за відсутності струму в робочій обмотці, контакти (якір) знаходяться біля одного з двох контактів (полюсів), і це залежить від попереднього

напряму струму в обмотці.

Спрацьовування відбувається після зміни напрямку струму відносно переднього стану. Якір трипозиційного реле (за відсутності струму в робочій обмотці) знаходиться в середньому положенні. При подачі сигналу на спрацьовування якір переміщується або вліво, або вправо залежно від напрямку струму [1, 2, 3]. Це досягається закріпленням якоря на достатньо жорсткій підвісній зворотній пружині (рисунок 3.1, *a*).

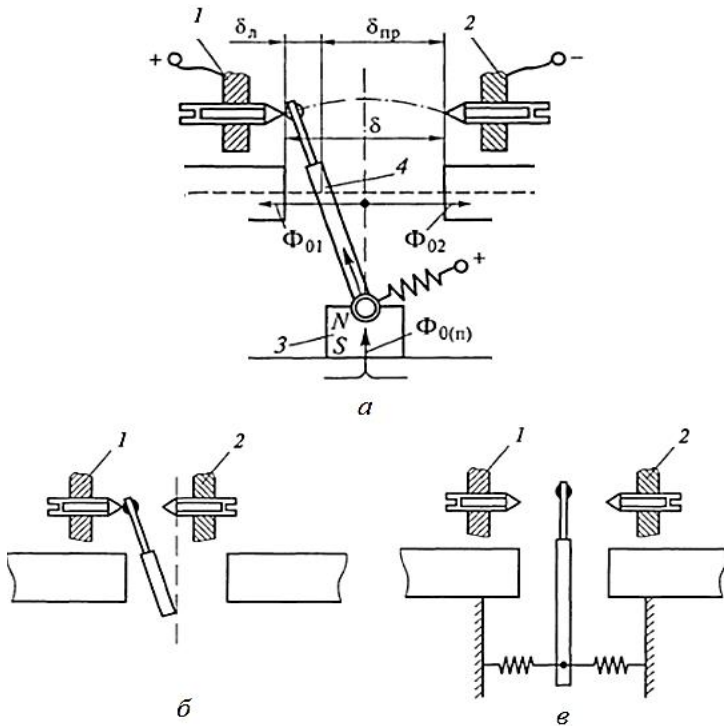


Рисунок 3.1 – Схеми настроювання контактів поляризованого реле:

a – двопозиційне; *б* – двопозиційне з переважанням одного з контактів;
в – трьохпозиційне.

Реле, контактна система якого зображена на рисунку 3.1, *a* є двопозиційним. Якщо його нерухомі контакти 1 та 2 симетрично

розташовані щодо нейтральної лінії (якір відрегульований симетрично), то при знятті керуючого сигналу якір реле залишається в тому ж положенні, яке він займав за наявності керуючого сигналу. Повторна подача сигналу попередньої полярності не викликає зміни положення якоря. Якщо змінити полярність сигналу, що керує, то якір перекинеться в інше положення, і залишиться в ньому після зняття сигналу. Таке налаштування називається нейтральним, або двопозиційним.

Якщо один із контактних гвинтів висунутий за нейтральну лінію (рисунок 3.1, б), то реле є двопозиційним з переважанням одного з контактів. У наведеному на рисунку випадку при вимкненому реле якір завжди притиснутий до лівого контакту, тобто контакту 1 і перекидається вправо лише на час протікання струму відповідної полярності в обмотці, що керує. Трипозиційне реле має симетрично розташовані від нейтральної лінії нерухомі контакти (рисунок 3.1, в) 1 і 2 (відповідно лівий та правий). Якір, який за відсутності керуючого сигналу утримується в середньому положенні за допомогою спеціальних пружин, розташованих з двох сторін, або закріплюється на плоскій пружині, пружність якої створює стійке положення рівноваги в середньому положенні. При подачі сигналу в обмотку, що керує, контакт на якорі замикається в залежності від полярності сигналу з лівим або правим нерухомим контактом і повертається в нейтральне положення після зняття сигналу.

Конструкції поляризованих реле в промисловості є різними. У лабораторній роботі об'єктами тестування є три типи реле (РП-4, РП-5, РП-7), які використовуються для комутації електричних кіл в апаратурі автоматики, зв'язку (у приймальних та передавальних колах апаратури тонального телеграфу) та сигналізації. Реле можуть експлуатуватися у рухомих пристроях.

Реле відрізняються регулюванням контактних систем:

- РП-4 та РП-4М – двопозиційні, нейтральні, двостабільні;
- РП-5 – трипозиційні, однастабільні, якір реле типу РП-5 за відсутності порушення перебуває у середньому становищі і стосується контактів;
- РП-7 – двопозиційні, однастабільні, з переважанням до правого контакту. За відсутності струму в обмотці якір реле типу РП-7 завжди притиснутий до правого контакту.

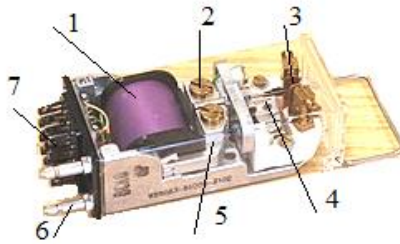


Рисунок 3.2 – Конструкція поляризованих реле автоматики РП-4, РП-5 та РП-7 [3]

Реле РП-4М має фторопластову прокладку між пружинами якоря. Прокладка призначена для зменшення деренчання якоря. Реле типу РП-5 відрізняється від реле типу РП-4 більшою товщиною пружини підвісного якоря. Магнітне коло реле типів РП побудовано за мостовою схемою, в якій шляхи постійного та керуючого (змінного) магнітних потоків розділені. Керуючий магнітний потік спрямований уперек якорю. Постійний магніт Г-подібної форми з алюмінієво-нікелевої сталі разом з полюсним наконечником (башмаком) з м'якої електротехнічної сталі марки ЕА залитий в силумінову основу реле. До наконечника двома гвинтами 2 прикручений магнітопровід у вигляді розіркненого прямокутника 5, зібраний з листового молібденового пермалою. На сердечнику розташовано котушку 1 із чорного моноліту, на якій намотується від однієї до семи обмоток. Якір реле 4 склепаний із двох пластинок м'якої електротехнічної сталі і укріплений (підвішений) на тонкій сталевій пружині в силуміновій рамці. Для стабілізації положення якоря підвісна пружина розтягнута. До якоря приклепані дві контактні пружини з олов'яно-фосфористої бронзи з контактами. Якір та контактна система реле 3 зібрані на окремій керамічній основі. Силумінова рамка з якорем прикручена двома гвинтами до основи з кераміки, на іншому кінці якого укріплені дві контактні стойки з нерухомими пружинами контактними і гвинтами, що регулюють. Контакти мають сферичну контактну поверхню. Матеріал контактів реле ПДЦРХ-1, ВС-70 (для реле виконання РВ4.522.000-01 – матеріал ЗлНк95-5). Кінці обмоток та ланцюги контактної системи 7 припаяні до 16 плоских контактних штифтів (ламель) спеціальної штепсельної колодки з фенопласту. Ця колодка прикріплена двома гвинтами та двома штифтами напряду до

силу мінової основи (корпусу). Включення реле в коло живлення і комутовані кола здійснюється за допомогою з'єднувальної (штепсельної) колодки 6, що дозволяє робити швидко заміну реле. Реле надійно працюють при струмі, що перевищує в 2-4 рази їхній струм спрацьовування. Робоче становище реле будь-яке. За кількістю обмоток реле можуть бути:

- РП-4 двохобмоточні, трьохобмоточні, семиобмоточні;
- РП-5 однообмоточні, двохобмоточні, трьохобмоточні, чотириобмоточні, п'ятиобмоточні, шестиобмоточні та семиобмоточні;
- РП-7 однообмоточні, двохобмоточні, трьохобмоточні, чотириобмоточні, п'ятиобмоточні та семиобмоточні.

Поляризовані реле знаходять широке застосування в схемах автоматики завдяки своїм характерним особливостям, а саме наявність декількох обмоток дозволяє використовувати їх як логічні елементи, невелика потужність спрацьовування – як елементи контролю невеликих електричних сигналів, малий час спрацьовування та чутливість до полярності вхідних сигналів – як амплітудні модулятори та демодулятори. Завдяки високій чутливості поляризовані реле часто використовують у малопотужних колах змінного струму, вмикаючи їх через випрямляч [3].

3.3 Опис лабораторного стенду

Електрична схема випробування складається зі стандартного джерела живлення, що базується на всіх лабораторних столах і лабораторному обладнанні, встановленому на панелі. Це показано на рисунку 3.3. Полярність напруги обмоток реле змінюється перемикачем S3. Підключення будь-яких реле (РП-4, РП-5, РП-7) здійснюється перемикачем S4. Діапазон вимірювання міліметрів РА змінюється перемикачем S2, а його значення фіксуються кнопкою SB. Лампи HL1 і HL2 необхідно з'єднати короткими провідниками для індикації положення контактів тестових реле.

3.4 Порядок виконання роботи

Перед початком виконання лабораторної роботи студент повинен:

– після перевірки кола викладачем включити автомат QF, підвищувати та знижувати напругу та вимірювати наступні значення: $I_{\text{спр}}, U_{\text{спр}}, U_{\text{зв}}, I_{\text{зв}}, I_{\text{р}}, U_{\text{р}}$, потім заповнити таблиці 3.1 та 3.2 з даними для всіх типів реле;

– визначити вид настроювання реле РП 4, РП 5, РП 7;

– провести виміри, для чого при розімкненому ключі S3 за допомогою автотрансформатора Т встановити напругу 3 В. При цьому перемикачем встановити необхідну межу вимірювання. За допомогою S3, перемикаючи в положення, що вказані в таблиці 3.1, визначити тип регулювання реле, відзначаючи в таблиці 3.1 засвічування лівої (Л) чи правої (П) сигнальної лампочки.

Вивести автотрансформатор Т в положення, що відповідає нулю. Перемикач S2 поставити в положення 100 мВ чи 300 мВ, S3 поставити в положення «+». Вимикачем S4 ввімкнути обмотку 1 і, плавно підвищуючи напругу за допомогою автотрансформатора Т, записати $I_{\text{спр}}$ та $U_{\text{спр}}$ реле в ту мить, коли потухла ліва, і загорілась права (чи навпаки) сигнальні лампи. Відбулось перемикання контактів реле.

Якщо реле не перемкнулось при підвищенні напруги до 3 В, то необхідно автотрансформатор вивести на нуль, встановити S3 в положення «-», і повторити досліди для кожного типу реле. Зменшуючи за допомогою Т напругу, зафіксувати $I_{\text{зв}}$ та $U_{\text{зв}}$ реле за зміною горіння сигнальних ламп (для відповідних типів регулювання). Визначити значення $K_{\text{зв}}, K_{\text{з}}, K_{\text{л}}$ і $K_{\text{підс}}$.

– побудувати релейну характеристику кожного типу реле.

Для перевірки струмів та напруги спрацьовування та повернення реле та побудови кривих їх керування необхідно:

а) перемикач S4 поставити в положення тестового реле;

б) перемикач S3 поставити в положення «1» і зафіксувати всі необхідні параметри PV і PA (кнопка SB);

в) поставити автотрансформатор Т на нульову станцію, перемикач S3 поставити в положення «2» і зафіксувати всі необхідні параметри PV і PA (кнопка SB);

г) занести експериментальні дані в таблицю 3.2 для всіх типів реле;

д) після всіх випробувань вимкнути SF, відключити лабораторне коло.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

Тип реле	№ обмотки	Позиція перемикача S3								Тип настройки
		0		1		0		2		
		HL1	HL2	HL1	HL2	HL1	HL2	HL1	HL2	
РП-4	1									
	2									
РП-5	1									
РП-7	1									

Найбільша потужність відмикання контактів – 4.8 Вт

Для розрахунку зворотного коефіцієнта (коефіцієнта повернення), коефіцієнт підсилення за умови потужності комутації схеми всіх тестових реле дорівнює 4,8 Вт.

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані

Тип реле	Позиція перемикача S3		Параметри реле					
			$I_{спр}, A$	$U_{спр}, B$	$I_{зв}, A$	$U_{зв}, B$	$P_{спр}, Вт$	$K_{зв}$
РП-4	1	1						
		2						
	2	1						
		2						
РП-5	1							
	2							
РП-7	1							
	2							

3.5 Вказівки з техніки безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримуватися інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

3.6 Контрольні питання

3.6.1. Чим відрізняються поляризовані реле від нейтральних?

3.6.2. Які переваги мають поляризовані реле у порівнянні з нейтральними?

3.6.3. Поясніть принцип дії поляризованих реле.

3.6.4. Чим пояснюється більш висока швидкодія і чутливість поляризованих реле у порівнянні з нейтральними?

3.6.5. Які існують типи налаштування двопозиційних поляризованих реле?

3.6.6. Які типи магнітних кіл використовуються у поляризованих реле?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕРКОНОВОГО РЕЛЕ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

4.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи і конструкції герконового реле, визначити параметри реле, релейну характеристику, параметри спрацьовування та повернення, коефіцієнт повернення, релейну характеристику. Визначити особливості роботи декількох магнітокерованих контактів в одній обмотці керування.

4.2 Загальні відомості

Магнітокерований контакт (МК) – це елемент електричного кола, що змінює його стан шляхом механічного замикання чи розмикання завдяки дії керуючого поля на контакт деталі цього елемента, що суміщають функції електричних і магнітних кіл. Герметизований магнітокерований контакт – це магнітокерований контакт, деталі якого герметично ізольовані від навколишнього середовища. Герконові реле найчастіше являють собою котушки, всередині яких розташовуються один або декілька герконів.

При відсутності магнітного поля контакти замкнені або розімкнені. При виникненні повздовжнього магнітного поля пружини згинаються і замикають чи розмикають контакт деталі. Завдяки герметизації контактів покращується надійність комутації і стабільність перехідного опору в порівнянні з негерметизованими контактними пристроями. Термін служби складає $10^6 \dots 10^9$ комутацій, час спрацьовування $5,0 \dots 2,0$ мс, час відпускання $0,2 \dots 1,0$ мс.

Недоліками герконового реле є порівняно малий струм комутації, необхідність надійного екранування від зовнішніх магнітних полів тощо.

Геркони широко використовують у системах контролю, реле, логічних елементах, перетворювачах напруги та струму, датчиках неелектричних величин, коаксіальних перемикачах, комутаторах,

виконавчих елементах схем перебудови частоти у ВЧ-пристроях, кінцевих вимикачах.

Геркони класифікують за такими ознаками:

- а) характером взаємодії феромагнітних електродів в магнітному полі;
- б) конфігурацією магнітного кола;
- в) видом контактної групи;
- г) матеріалом феромагнітних електродів;
- д) типом електричного контакту;
- є) видом накопичення балону;
- ж) різновидами рухомої системи;
- з) видом герметизації;
- і) габаритними розмірами тощо.

Геркони керуються, в залежності від їх конструкції, одним чи декількома магнітними полями, зміною характеристик магнітного кола.

При роботі декількох герконів в одній котушці керовані контакти замикаються (або розмикаються) не одночасно, спочатку замикається (розмикається) найбільш чутливий геркон, а потім інші. Кожне замикання (розмикання) герконів супроводжується перерозподілом магнітного потоку всередині котушки.

Герконове реле спрацювало тоді, коли замкнулися (розімкнулися) контакти, а відмикається тоді, коли всі контакти розімкнуться (замкнуться).

В класичному виконанні геркон є скляним балоном 1 (зауважимо, що скло герконів зазвичай зеленого кольору через присутність іонів заліза, коли заварюється скляний балон за допомогою інфрачервоного випромінювання або резистивною зваркою), в який впаяні контакт-деталі 2 (оскільки вони поєднують декілька функцій їх також називають контактними осердями – КО), що виконуються з магнітного сплаву з великою магнітною проникністю (найчастіше з пермалоїв) і виводів 3 (рисунок 4.1). Цей геркон розміщений в колі керування – котушці 4. Пермалої – це сплави заліза та нікелю, які мають велику початкову магнітну проникність в області слабких магнітних полів, що пов'язана з практичною відсутністю анізотропії і магнітострикції. Комутуючі частини контакт-деталей покриваються шаром благородних металів ($RP = \text{const}$), наприклад родію Rh, золота Au та їх сплавів. Усередині скляного балона утворюється або вакуум, або ж балон заповнюється сухим газом (азотом N, воднем H, або їх сумішшю),

що не вступають в хімічну реакцію з матеріалом контактів. Якщо геркон помістити в магнітне поле, яке створюється електромагнітною котушкою, електромагнітом або постійним магнітом, то через контакт-деталі проходить певний магнітний потік [8].

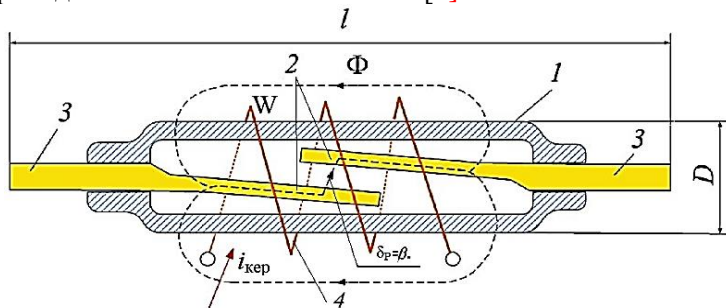


Рисунок 4.1 – Конструкція симетричного магнітокерованого контакту, що замикає (герконове реле) [3]

4.3 Порядок виконання роботи

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен:

- самостійно вивчити рекомендовані методичні вказівки і повторити розділ курсу про герконові реле;

- підготувати таблицю 4.1;

- зібрати схему рисунку 4.1;

- експериментально визначити мінімальне, максимальне і середнє значення струмів, напруги, МРС і потужностей спрацювання і відпускання реле РПГ, а також робочий струм у колі керування;

- за отриманими даними побудувати релейну характеристику (залежність напруги на навантаженні силового кола від струму у колі керування), для цього необхідно вивести автотрансформатор Т на нуль; увімкнути автомат SF і, плавно підвищуючи напругу живлення по загорянню сигнальних лампочок HL1... HL10 зафіксувати струм і напругу на обмотці до робочого (12 В), зафіксувати робочий струм; зменшуючи напругу на обмотці реле, по згасанню сигнальних лампочок зафіксувати струм і напругу відпускання кожного геркона; довести автотрансформатор до позначки «нуль», в результаті дані експерименту занести до таблиці 4.1.

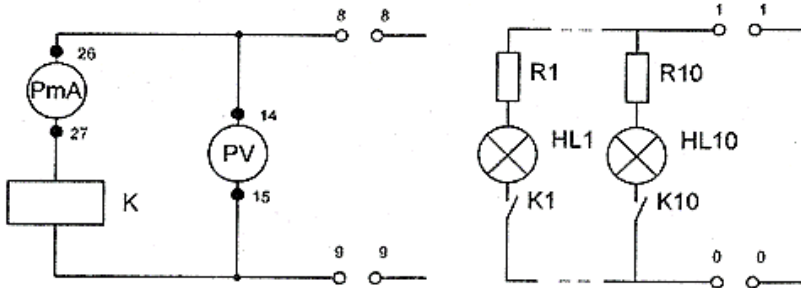


Рисунок 4.1 – Принципова схема включення герконового реле

4.4 Вказівки з техніки безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримувати інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

4.5 Контрольні запитання

- 4.5.1. Що собою являє магнітокерований герметизований контакт?
- 4.5.2. Основні конструкції, призначення і сфери застосування МК?
- 4.5.3. Які матеріали використовують при виготовленні геконів?
- 4.5.4. Коли використовують тліючий розряд гекона?
- 4.5.5. Дайте визначення фериту.
- 4.5.6. Коли застосовується керування МК за допомогою магнітних полів, перетинаються?
- 4.5.7. Поясніть особливості роботи реле змінного струму на геконах.
- 4.5.8. Чим відрізняється ферити з внутрішньою пам'яттю?
- 4.5.9. Які методи застосовуються для недопущення «невірних» спрацювань фериту?
- 4.5.10. Особливості роботи декількох МК в одній обмотці керування.

Таблиця 4.1 – Дані вимірювань і розрахунків № геркона та № випробування

[illegible]

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЄМНІСНОГО ДАТЧИКА

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

5.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи, призначення і особливостей конструкції ємнісних датчиків, розрахувати і визначити дослідним шляхом параметрів датчика, порівняти експериментальні і розрахункові дані, зробити висновки.

5.2 Загальні відомості

В ємнісному датчику зміна вимірювального параметру викликає пропорційну зміну ємності конденсатора.

Якщо проаналізувати формулу, що визначає ємність плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon_a S}{d},$$

де ε_a - абсолютна діелектрична проникність;

S – площа обкладинок конденсатора;

d – відстань між пластинами, то можна отримати три типи датчиків за наступними принципами (рисунок 5.1):

а) за принципом зміни відстані d між електродами – датчики переміщення;

б) зміни площі – датчики кута повороту;

в) зміни діелектричної проникності ε_a – датчики рівнів.

Конструктивно ємнісні датчики виконуються плоскими, циліндричними, роторними тощо. В якості діелектрика використовується повітря, слюда, фарфор та інші діелектрики, а також ізолюючі рідини.

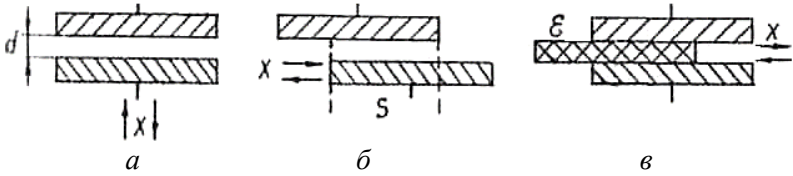


Рисунок 5.1 – Види ємнісних датчиків

В даній лабораторній роботі досліджується ємнісний датчик кутового переміщення. В схемі датчика (рисунок 5.2) роторний конденсатор з повітряним діелектриком. Також конденсатори змінної ємності застосовують в радіотехніці для настроювання коливальних контурів. Для збільшення ємності вони виконуються з багатьма пластинами. Робоча площа пластин конденсатора залежить від кута повороту ротора.

Ємність конденсатора змінюється при зміні робочої площі пластин. Таким чином, змінюється опір конденсатора змінного струму і вихідні параметри перетворювача $U_{\text{вих}}$ та $I_{\text{вих}}$. За вимірювальним приладом можна зрозуміти стан вхідного (контрольного) значення.

Перевагами перетворювачів змінної ємності є:

- висока чутливість, що дозволяє вимірювати швидко - змінні процеси (вібрації, прискорення);

- відносно невелике значення s і ваги;

- мала інерційність;

- невеликий протилежний вплив на параметр;

- мале значення енергії взаємодії між пластинами;

- низький вхідний ефект.

Недоліками перетворювачів змінної ємності є:

- потреба в електроживленні високої частоти;

- необхідність екранування зовнішніх електричних полів і паразитних конденсаторів;

- низька вихідна потужність, спричинена великим ємнісним опором X_c через конденсатор малої ємності;

- вплив вологості і температури на величину його діелектричної проникності.

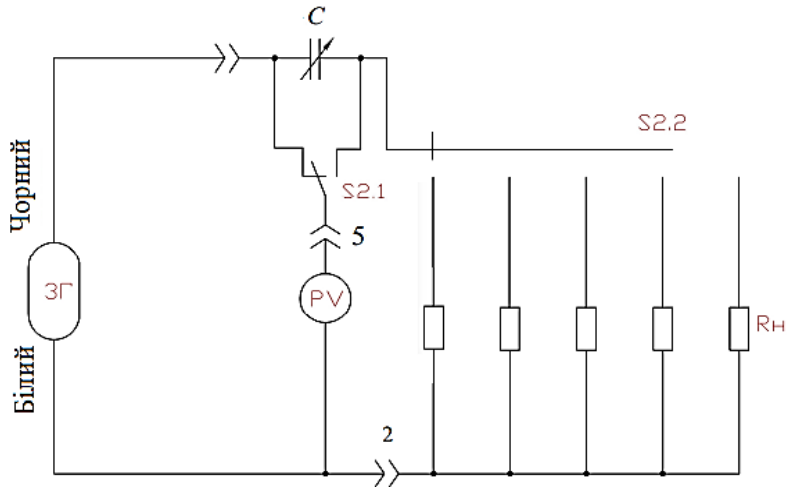


Рисунок 5.2 – Схема перевірки датчика

5.3 Порядок виконання роботи

Студенти перед виконанням лабораторної роботи мають:

- розглянути конструкцію, застосування ємнісних датчиків, їх переваги та недоліки;
- розрахувати максимальну потужність конденсатора, що використовується для перевірки перетворювача;
- розрахувати ємнісний опір датчика при різних кутах повороту пластин конденсатора (0° , 45° , 90° , 135° , 180°) і при різних частотах напруги живлення (4, 7, 10 кГц);
- розрахувати силу струму в колі перетворювача та напругу на його виході при $R_H = R_{H \max}$ зазначених вище станів ротора конденсатора та значень частот;
- аналогічно виконайте такі розрахунки при $f = 4$ кГц, $R_H = (R_{H \min}, \dots, R_{H \max})$, $C = (C_{\min}, \dots, C_{\max})$;
- для точок, розрахованих у четвертому пункті, визначити експериментально $U_{\text{вих}} = \varphi(f)$ і $U_{\text{вих}} = \varphi(R_H)$;
- розрахувати чутливість і побудувати графіки експериментальних функцій;
- порівняти результати та робити висновки.

5.4 Вказівки з техніки безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримувати інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

5.5 Методичні рекомендації до розрахунків

5.5.1 Інформацію про датчики змінної ємності можна знайти в літературі [1, 2, 3].

5.5.2 Для розрахунку максимальної ємності конденсатора необхідно виміряти величину повітряного зазору між пластинами та їх робочу площу. Ємність плоского конденсатора розраховується за формулою:

$$C = \frac{\varepsilon_n \cdot \varepsilon_0 S (n-1)}{d} + C_0, \quad (5.1)$$

де $\varepsilon_n = 1$ – діелектрична проникність повітря; $\Phi/\text{с}$;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi/\text{с}$;

S – робоча площа пластини, м^2 ;

d – середній зазор між плитами, м ;

n – кількість пластин (нерухомих і рухомих);

C_0 – мінімальна потужність конденсатора, що дорівнює 10% від першого значення у формулі (5.1).

5.5.3 Ємнісний реактивний опір розраховується для станів ротора 0° ($C_{\min}$); 45° ($C=C_{\max}/4$); 90° ($C=C_{\max}/2$); 150° ($C=2/3 C_{\max}$); 180° ($C=C_{\max}$) при частоті (вхідної) напруги живлення $f = 4 \text{ кГц}$, 7 кГц та 10 кГц . Результати розрахунку заносяться в таблицю 5.1. (формула розрахунку 5.2). (5.2)

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}. \quad (5.2)$$

Струм та напруга в колі датчика розраховується за значеннями ємності та опору при різних навантаженнях, а також чутливість розраховується відповідно за наступними формулами:

$$I = \frac{U_{\text{вв}}}{\sqrt{X_c^2 + R_H^2}}, \quad U_{\text{в}} = I \cdot R_H, \quad K_a = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{\Delta C}.$$

Таблиця 5.1 – Данні випробувань

Кут повороту пластин α , град	f , кГц				
	1	2	4	7	10
0					
45					
90					
135					
180					

Перш за все, розраховується струм у колі датчика при $R_H = R_{H \max}$, $f=4$ кГц і значеннях C ($C_{\min}$, ..., $C_{\max}$). Потім такі ж розрахунки проводяться для інших частот: 7 кГц, 10 кГц. Опір навантаження максимальний.

Результати випробувань заносяться в таблицю 5.1, а потім за отриманими даними будуються графіки функцій $I = \varphi(f)$.

У другому випадку частота приймається сталою $f = 4$ кГц, а значення R_H і C змінні. Результати заносять у таблицю, а потім за отриманими даними будуються графіки функцій $I = \varphi(R_H)$.

5.5.4 Напруга на вході та на виході датчика вимірюється одним і тим самим вольтметром. При вимірюванні вхідної напруги перемикач S2.1 перевести в положення $U_{\text{вх}}$, при вимірюванні вихідної напруги – в стан $U_{\text{вих}}$.

Для експериментального визначення функції $U_{\text{вих}} = \varphi(f)$ встановити частоту $f = 4$ кГц, напругу $U_{\text{вх}} = 50$ В, $R_H = R_{H \max}$; після чого змінюючи ємність конденсатора, зареєструйте значення $U_{\text{вих}}$.

5.5.5 Такі самі вимірювання зробити на інших частотах, підтримуючи $U_{\text{вх}} = 50$ В. Потім при $U_{\text{вх}} = 50$ В та частоті $f = 4$ кГц експериментально визначити залежність $U_{\text{вих}} = \varphi(R_H)$, змінюючи R_H перемикачем S2.2. Результати додати до таблиці 5.1.

5.5.6 За відомими даними та формулами розрахувати чутливість перетворювачів змінної ємності (K_a).

5.4.7 Побудувати розрахункові та експериментальні залежності $U_{\text{вих}} = \varphi(f)$, $U_{\text{вих}} = \varphi(R_H)$, $K_a = \varphi(f)$, $K_a = \varphi(R_H)$.

5.6 Контрольні питання

5.6.1. Які принципи побудови конструкцій ємнісних датчиків?

5.6.2. Назвіть приклади конструкцій ємнісних датчиків.

5.6.3. Для чого застосовуються ємнісні датчики?

5.6.4. Переваги та недоліки ємнісних датчиків?

5.6.5. Принцип роботи ємнісних датчиків.

5.6.6. Чому дорівнює оптимальна частота f для датчика, що досліджується?

5.6.7. Чому дорівнює оптимальний R_H для досліджуваного датчика?

5.6.8. Чому дорівнює чутливість K_a ємнісного датчика ?

5.6.9. Похибки ємнісних датчиків?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНОГО ДАТЧИКА

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

6.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи, призначення і особливостей конструкції потенціометричних датчиків, вивчити їх статичні і динамічні характеристики, визначити статичну чутливість., зробити висновки.

6.2 Загальні відомості

Перетворювачі опору використовуються для контролю лінійних і кутових переміщень, тиску, температур тощо. Принцип їх дії заснований на зміні активного електричного опору під впливом вимірювального сигналу. Для їх живлення можуть використовуватися джерела постійного або змінного струму. Напруга або струм будуть вихідними параметрами в залежності від вхідних (як потенціометр або змінний опір).

У датчиках опору положення його рухомого елемента механічно пов'язане з робочим механізмом (РМ). Зміна положення робочого механізму призводить до зміни опору перетворювача.

Потенціометричний датчик (друга назва – потенціометричний перетворювач) уявляє собою змінний опір, рухомий контакт якого переміщується завдяки механічному зусиллю. Ці датчики служать для перетворювання кутових чи лінійних механічних переміщень відповідно зміні опору, напруги чи струму.

Потенціометричний датчик являє собою змінний резистор з лінійним або кутовим переміщенням повзунка, яке перетворюється на відповідну зміну опору, струму або напруги.

За способом виконання опору потенціометричні датчики поділяються на:

- ламельні з постійними опорами;
- дротяні з безперервним намотуванням;
- із резистивним шаром.

Ламельні потенціометричні датчики використовувалися для

відносно грубих вимірів через певні конструктивні недоліки. У таких датчиках постійні резистори, підібрані за номіналом спеціальним чином, припаюються до ламелей. Ламель являє собою конструкцію з провідними і непровідними елементами, що чергуються, по якій ковзає струмознімальний контакт (див. рисунок 6.1). При русі струмознімача від одного провідного елемента до іншого сумарний опір підключених до нього резисторів змінюється на величину, що відповідає номінального значення одного опору. Зміна опорів може відбуватися у широких межах. Похибка вимірів визначається розмірами контактних площадок.

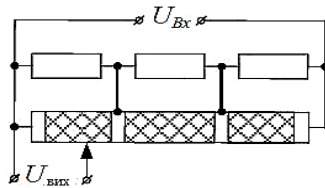


Рисунок 6.1 – Ламельний потенціометричний датчик

Широке застосування в автоматичних системах отримали дровотві потенціометричні датчики, які призначені для більш точних вимірів. Як правило, їх конструкції є каркасом з гетинаксу, текстоліту або кераміки, на який в один шар, виток до витка намотаний тонкий дріт, по зачищеній поверхні якої ковзає струмознімальний контакт (повзунок) (рисунок 6.2). Каркас виготовляється з ізоляційного матеріалу чи металу, покритого шаром ізоляції. За формою каркаси бувають плоскими, циліндричними та кільцевими. Обмотку виконують високоомним дротом з манганіну, константану, ніхрому та ін. Діаметр обмотувального дроту в залежності від необхідної точності становить 0,03 для датчиків низького класу. Обмотковий провід покривають емаллю або шаром окислів.

Ці датчики належать до розповсюджених датчиків зсуву (переміщення), які можуть вимірювати як лінійне зсув (при поступальному переміщенні), так і кут повороту (при обертанні). Вони належать до датчиків параметричного типу і перетворюють механічні переміщення в змінювання активного опору електричного кола, а також мають назву резистивних датчиків зі змінним опором.

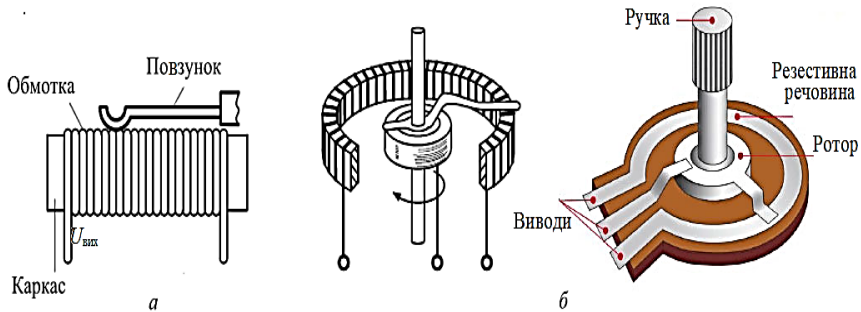


Рисунок 6.2 – Принцип дії потенціометричного датчика

Провід намотується на плоский, циліндровий кільцевий каркас із діелектрика (текстоліт, електричний ебоніт, гетинакс та ін.), а для особливо точних датчиків – на металевий каркас, напильний ізоляційними окислами (наприклад, Al_2O_3), які добре відводять тепло. Повзунки зазвичай виготовляють зі сплавів паладія з іридієм, сріблом, або кобальта ($Pd + Ir$, $Pd + Ag$, $Pd + Ag + Co$) та інші. Задля забезпечення контакту у момент переміщення з витка на виток, повзунок має торкатися одночасно попереднього витка і наступного (рисунок 6.2).

Потенціометричний однотактовий датчик (рисунок 6.3) – це дротяний резистор, увімкнений за схемою напруги. Статична характеристика потенціометра може бути як лінійною так і нелінійною функцією $U_x = f(x)$. Повзунок потенціометра кінетично зв'язаний з джерелом вхідного сигналу. В цьому випадку змінним переміщенням вважається координата x , що характеризує положення повзунка відносно початку обмотки потенціометра. Однотактовий датчик дозволяє вимірювати переміщення тільки одного знаку. Для конструювання датчика, що реагує на знак вхідного переміщення на обмотці виконується вивід з середньої точки. Конструктивно потенціометричний датчик уявляє собою каркас з пластмаси, текстоліту, гетинаксу, кераміки або інших ізоляційних матеріалів. Застосовуються також алюмінієві каркаси, покриті ізоляційною оксидною плівкою.

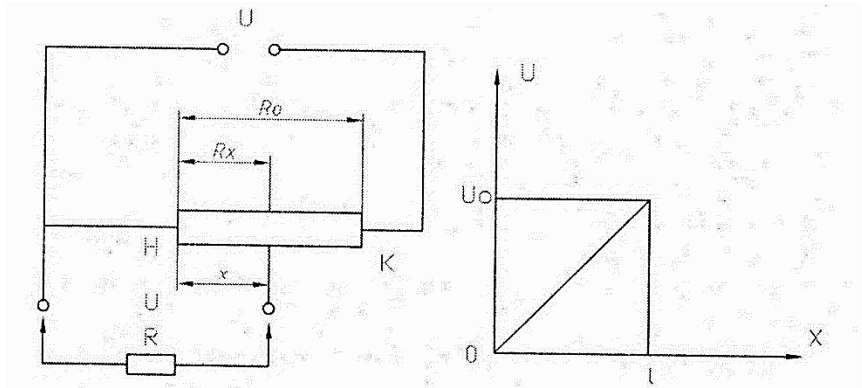


Рисунок 6.3 – Датчик потенціометричний одноктаковий і його статична характеристика

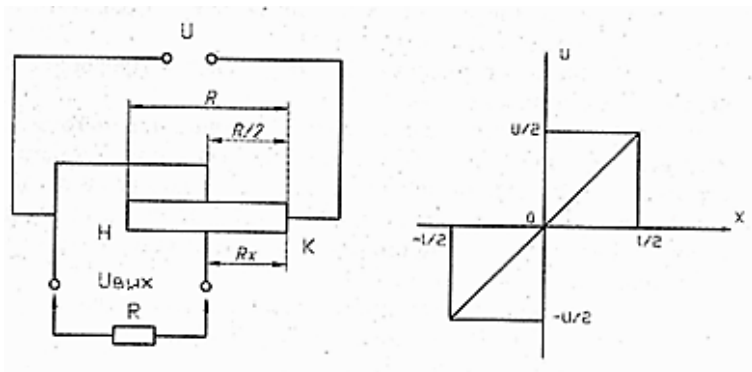


Рисунок 6.4 – Датчик потенціометричний двотактний і його статична характеристика

Алюмінієвий каркас є хорошим провідником тепла, дозволяє збільшити щільність струму в обмотці, отже, підвищити чутливість датчика.

6.3 Порядок виконання роботи

Перед виконанням лабораторної роботи кожен студент повинен самостійно вивчити методичні вказівки і повторити розділ курсу о потенціометричних датчиках та зробити наступне:

- заготовити таблиці 6.1 та 6.2;
- зібрати в аудиторії схему, зображену на рисунку 6.3;
- за допомогою регулятора автотрансформатора Т по показанням вольтметра установити $U=10$ В;
- для дослідження одно тактового потенціометричного датчика поставити повзунок потенціометра R1 в крайнє ліве положення;
- установити перемикач S12 в крайнє ліве положення;
- обертаючи вісь потенціометра R2, через кожні 45° зняти показання вольтметра PV2, записати їх в таблицю 6.1.;
- установити перемикач S12 в положення 2, та повторити те, що вказано у попередньому пункті;
- установити перемикач S12 в положення 3, та повторити те, що вказано те, що вказано у попередньому пункті;
- установити перемикач S12 в положення 4 та повторити те, що вказано у попередньому пункті;
- для дослідження двотактового потенціометричного датчика з штучною середньою точкою устатувати повзунок потенціометра R в середнє положення та повторити те, що вказано у попередньому пункті. Показання вольтметра починати знімати в крайньому лівому положенні повзунка потенціометра R. Звернути увагу на знак $U_{вих}$. Показання занести до таблицю 6.2.;
- за експериментальними даними побудувати статичну характеристику $U = f(j)$ на одному графіку та зробити висновки;
- розрахувати чутливість датчика;
- за експериментальними даними побудувати статичну характеристику холостого ходу однотактового датчика з середньою точкою (при $R_H=\infty$);
- за експериментальними даними побудувати статичні характеристики датчиків при навантаженнях при:
 - $R_H=R_0, \alpha=1, R_0= 2,2 \text{ кОм},$
 - $R_H=R_0, \alpha=5,$
 - $R_H=10R_0, \alpha=0,1,$ де R_0 – повний опір потенціометра;
- визначити статичну характеристику датчиків при різних R_H ;
- дати аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

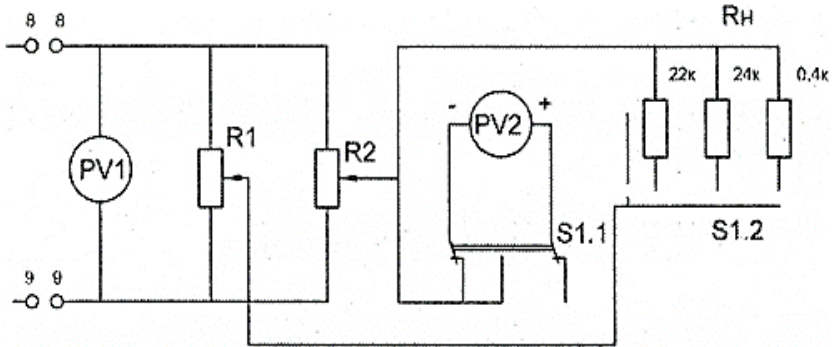


Рисунок 6.5 – Принципова схема дослідження потенціометричних датчиків

Таблиця 6.1 – Експериментальні дані $R_2 = \text{const}$

Кут повороту R_1 осі J, град	0	45	90	135	180	225	270	300
$U_{\text{вих, 1}}, \text{В}$								
$U_{\text{вих, 2}}, \text{В}$								
$U_{\text{вих, 3}}, \text{В}$								
$U_{\text{вих, 4}}, \text{В}$								

Таблиця 6.2 – Експериментальні дані $R_1 = \text{const}$

Кут повороту R_2 осі J, град	0	45	90	135	180	225	270	300
$U_{\text{вих, 1}}, \text{В}$								
$U_{\text{вих, 2}}, \text{В}$								
$U_{\text{вих, 3}}, \text{В}$								
$U_{\text{вих, 4}}, \text{В}$								

6.4 Вказівки з техніки безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримувати інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

6.5 Контрольні питання

6.5.1. Конструкція і застосування потенціометричного датчика.

6.5.2. Основні характеристики датчика.

6.5.3. Гідності і недоліки потенціометричних датчиків.

6.5.4. Що таке зона нечутливості?

6.5.5. Що таке статична характеристика датчика?

6.5.6. Як впливає навантаження на статичну характеристику датчика?

6.5.7. Від чого залежить статична чутливість датчика?

6.5.8. В яких випадках використовують функціональні потенціометричні датчики?

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМІЩЕННЯ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

7.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи, призначення і особливостей конструкції індуктивних датчиків, визначивши дослідним шляхом параметри датчика і дати їхній аналіз, зробити висновки.

7.2 Загальні відомості

Індуктивні і трансформаторні датчики призначені для вимірювання значень переміщень та зусилля. Принцип їх роботи, відповідно, базується на зміні індуктивності через пересування рухомого елемента, або магнітного зв'язку між первинною та вторинною обмотками. Отже, ці датчики розрізняють за вихідними параметрами: з коефіцієнтом самоіндукції, що змінюється (індуктивні датчики) та з коефіцієнтом взаєміндукції, що змінюється (трансформаторні датчики). Під датчиком розуміють апарат, що перетворює контрольовану величину одного виду у величину другого виду, більш зручну для дії на оперативному органі системи автоматичного керування (САК).

В більшості випадків датчики перетворюють неелектричні величини в електричні, наприклад, механічне переміщення, пов'язане зі зміною положення якоря електромагніту, змінює індуктивність його обмотки або перетворює температуру за допомогою терморпарі Е.Р.С. тощо

Такі датчики широко застосовуються в пристроях контролю розмірів в машинобудуванні, контролю вздовж сталюого дроту як вхідні датчики динамометрів. Високо-частотні індуктивні датчики використовуються у диференціальних масових, резонансних схемах, а також в схемах, що використовуює метод буття і частотні дискримінатори. Перевагами високочастотних датчиків є висока чутливість, малі габарити, мізерні вимірювальні зусилля.

Відстань спрацювання та об'єкт впливу залежить від конструкції та принципу дії індуктивного датчика, а об'єкт впливу може мати вертикальне або горизонтальне переміщення щодо самого вимірювача. Однак реакція сенсора на початок руху контрольованого об'єкта може починатися не відразу, що зумовлюється номінальною відстанню, при якому забезпечується зона чутливості датчика і технічними параметрами об'єкта. Як видно на рисунку 7.1, у першому положенні контрольований об'єкт знаходиться на такому віддаленні, де електромагнітні лінії не досягають його поверхні.

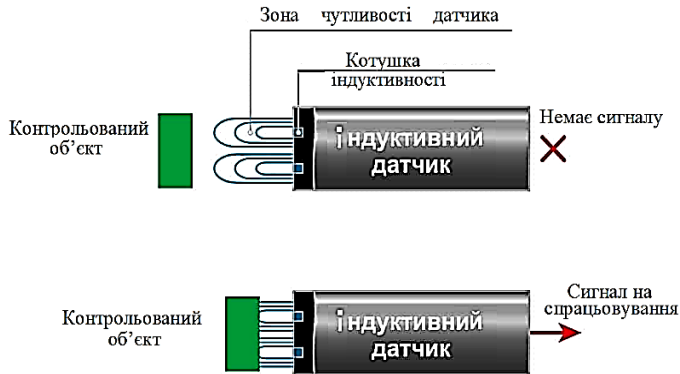


Рисунок 7.1 – Область та об'єкт спрацювання індуктивного датчика [8]

У такому разі з індуктивного датчика сигнал не зніматиметься, оскільки він не фіксує переміщення в зоні чутливості. У другому положенні контрольований об'єкт вже перетнув відстань спрацювання та увійшов у чутливу зону. Внаслідок взаємодії з об'єктом на виході датчика з'явиться відповідний сигнал.

Також відстань спрацювання залежатиме від геометричних розмірів, форми та матеріалу. Слід зауважити, що як об'єкт спрацювання індуктивного датчика застосовуються тільки металеві предмети, але від конкретного типу відрізнятиметься і момент переходу датчика в протилежний стан, що зображено на діаграмі:

7.3 Порядок виконання роботи

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен самостійно вивчити методичні вказівки і повторити розділ курсу про індуктивні датчики, підготувати таблиці 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 і 7.8, зібрати схему на рисунку 7.1.

При будь-яких вимірюваннях напругу звукового генератора необхідно підтримувати постійною по величині.

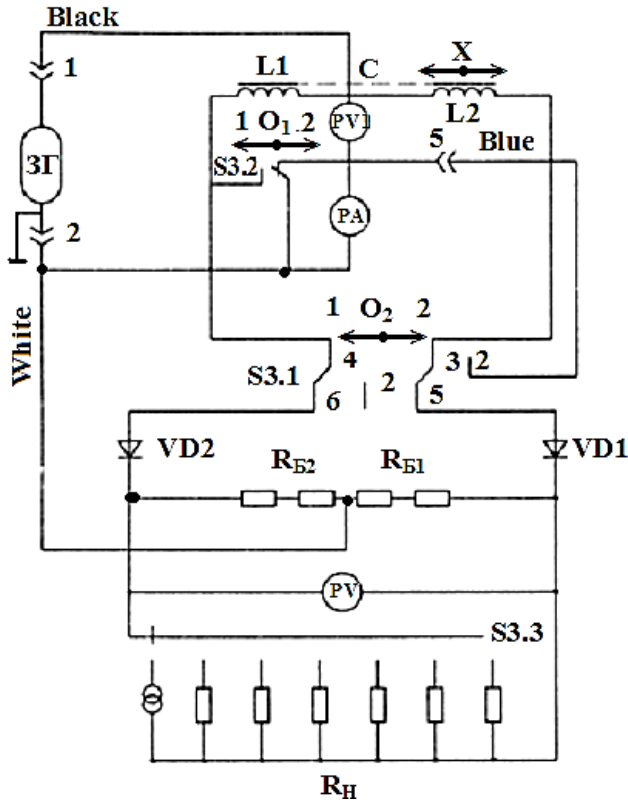


Рисунок 7.1 - Схема випробувань індуктивного датчика

7.3.1. Вимірювання індуктивностей $L1(x)$ та $L2(x)$ при різних фіксованих положеннях осердя здійснюється за методом амперметр-вольтметр. Для того, щоб вимірювати струм та напруги на котушці,

перемикач S 3.1 необхідно перевести в положення «2», а перемикач S 3.2 в положення «0». Показання PV1 та PA записати до таблиці 7.1.

Для вимірювання струму та напруги при таких самих значеннях X в котушці перемикач S 3.2 необхідно поставити в положення «2», а S 3.1 в «0». Показання PV1 та PA записати до таблиці 7.1.

Для вимірювання струму та напруги при однаковому значенні X у 2-й котушці перемикач S 3.2 потрібно поставити в положення «2», а S 3.1 в положення «0». Запишіть показники PV1 та PA до таблицю 7.1.

В експериментальному індукційному датчику межі вимірювання $0 < x < 3$ мм розділені на ряд ділянок (мітки на латунній частині сердечника). Обираючи послідовно 5...6 значень X, виконайте вимірювання кожного X, на 1-й та 2-й котушках. У результаті вимірювання для розрахунку $L1(x)$ і $L2(x)$ використовуйте наведені формули в додатку.

7.3.2 Розрахувати характеристику $U_2(x)$ за наведеними в додатку формулами. Значення R_n і R_0 наведені в кінці тексту. Виконати розрахунок на частоті $f=400$ Гц. Результати розрахунку запишіть у таблицю 7.2.

Таблиця 7.1 – Результати досліджень

Змінна	1	2	3	4	5	6
X, мм						
Z1, Ом						
U ₁ , В						
I ₁ , А						
Z2, Ом						
U ₂ , В						
I ₂ , А						
L 1, Гн						
L2, Гн						

Таблиця 7.2 – Результати розрахунку

Значення		1	2	3	4	5	6
R_n 1	X, мм						
	Kz						
	U_2 , В						
R_n 2	X, мм						
	Kz						
	U_2 , В						

Розрахунок провести для значень R_n . За даними таблиці 7.2 побудувати графіки $U(x)$ при $R=\text{const}$ в одних осях.

7.3.3. При проведенні випробувань перемикач повинен бути в положенні «1»-«1». Вимірювання проводити при $f = 4000$ Гц. Результати розрахунку занести до таблицю 7.3

Таблиця 7.3 – Результати розрахунку

Значення		1	2	3	4	5	6
R_n 1	X, мм						
	U_2 , В						
R_n 2	X, мм						
	U_2 , В						

За даними таблиці 7.3 побудувати графік $U(x)$ при $R=\text{var}$ в одних осях з графіком таблиці 7.2 і порівняти їх з розрахунковими результатами.

7.3.4. Користуючись графіками, отриманими при виконанні пп. 7.3.2 і 7.3.3 та формулами, приведеними в додатку, визначити залежність коефіцієнту чутливості датчика в залежності від R_n до $k(R_n)$. Побудувати в одних осях координат графіки $R=f(R_n)$, отримані за експериментальними та розрахунковими даними. Порівняти дві криві і дати аналіз. Результати розрахунку занести до таблицю 7.4.

Таблиця 7.4 – Розрахункові дані

№	R, Ом	ΔX , мм		ΔU_2 , В		K, В/м	
		Розрахунок	Дослід	Розрахунок	Дослід	Розрахунок	Дослід

Значення Δx і ΔU_2 брати з прямолінійних ділянок характеристик.

7.3.5. Значення $R=\text{const}$ вибрати довільно. Частоту задавати послідовно $f = (10^3, 2 \cdot 10^3, 3 \cdot 10^3, 4 \cdot 10^3, 5 \cdot 10^3)$ Гц. При кожній фіксованій частоті, користуючись формулами, приведеними в п.7.3.1 додатку розрахувати $U_2(x)$. Потім провести вимірювання $U_2(x)$ при таких самих частотах. Результати розрахунків і експериментів занести до таблицю 7.5

Таблиця 7.5 – Дані вимірювань і розрахунків

№	$f=10^3$ Гц			$f=2 \cdot 10^3$ Гц			$f=3 \cdot 10^3$ Гц			$f=4 \cdot 10^3$ Гц		
	X, мм	Kz	U_2 , В	X, мм	Kz	U_2 , В	X, мм	Kz	U_2 , В	X, мм	Kz	U_2 , В
		розр	досл		розр	досл		розр	досл		розр	досл

Всі графіки, отримані експериментально і за допомогою розрахунку, мають бути побудовані в одних координатах. Побудувати графіки $U(x)$, отримані експериментально і за розрахунками в одних осях.

7.3.6. Користуючись графіками, отриманими в п. 7.3.5 і за формулами п. 7.6 додатку, розрахувати $K(f)$ за експериментальними та розрахунковими даними. Результати розрахунків занести до таблицю 7.6.

Таблиця 7.6 – Розрахункові дані

№	f , Гц	ΔX , мм		ΔU_2 , В		Kz, В/м	
		розр	досл	розр	досл	розр	досл

Побудувати графіки $K_z(f)$ за результатами розрахунків та випробувань в одних осях координат. Дати аналіз отриманих залежностей.

7.3.7. За результатами досліджень (графіки) в пп. 7.3.3, 7.3.4, 7.3.5 та за формулами, приведеними в додатку, розрахувати похибки датчика в залежності від частоти підведеної напруги та R_n . Результати розрахунків занести до таблиць 7.7 і 7.8.

Таблиця 7.7 – Розрахункові дані

№	R_n			
	$\Delta U_2, \text{В}$	$U_{2\text{розр}}, \text{В}$	$\Delta U, \%$	$R_n, \text{Ом}$

Таблиця 7.8 – Розрахункові дані

№	f			
	$\Delta U_2, \text{В}$	$U_{2\text{розр}}, \text{В}$	$\Delta U, \%$	$R_n, \text{Ом}$

Побудувати графіки $\Delta U\%(f)$ і $\Delta U(R_n)$. Додати аналіз отриманих залежностей.

7.4 Вказівки з техніки безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримувати інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

7.5 Контрольні питання

7.5.1. Дайте визначення датчика та індуктивного датчика переміщення.

7.5.2. Які датчики називають параметричними дії індуктивного датчика.

7.5.3. Розкажіть про принцип дії індуктивного датчика.

7.5.4. Які переваги і недоліки індуктивних високочастотних датчиків.?

7.5.5. Поясніть принцип роботи схеми для випробувань датчика.

7.5.6. Поясніть закономірність зміни величин за графіками.

7.5.7. Зробіть висновки про властивості похибки датчика.

7.6 Додаток

Для кожної котушки розрахункові формули наступні:

$$Z=U/I. \quad Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \cong \omega L, \quad \omega = 2\pi f;$$

$$L \cong \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} \cong \frac{Z}{\omega}; \quad U^2 = 0.45 \lambda U_1 K Z.$$

Значення коефіцієнту λ залежить від екрануючої дії близько розташованих металевих частин, розподіленої ємності та ряду інших факторів ($\lambda = 0.2, \dots, 1$).

В роботі прийняти $\lambda = 0.4 \dots 0.6$.

$$KZ = \frac{L_2 - L_1}{\omega \frac{L_1 \cdot L_2}{R\delta} + L_1 + L_2 + \frac{R\delta}{\omega} + 2\omega L_1 \cdot L_2 + R\delta(L_1 + L_2)}.$$

$$L = \frac{\Delta U_2}{\Delta X}; \quad \Delta U\% = \frac{U_{2розр} - U_{2досл}}{U_{2розр}} \cdot 100\%.$$

Значення R_n and R_δ :

$$R_{n1} = 0.3 \text{ кОм}$$

$$R_{n2} = 0.56 \text{ кОм}$$

$$R_{n3} = 1.0 \text{ кОм}$$

$$R_{n4} = 2.0 \text{ кОм}$$

$$R_{\delta 1} = 3.3 \text{ кОм}$$

$$R_{\delta 2} = 6.2 \text{ кОм}$$

$$R_{\delta 3} = 1.5 \text{ кОм}$$

$$R_{\delta 4} = 1.5 \text{ кОм}$$

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО РЕЛЕ З МАГНІТОКЕРОВАНИМИ КОНТАКТАМИ

Тривалість лабораторного заняття – 2 години.

8.1 Мета роботи

Основною метою лабораторної роботи є: вивчення принципу роботи, особливостей конструкції реле з магнітокерованими контактами. На моделі симетричного нейтрального геркона, керованого обмоткою зі струмом; провести вимірювання параметрів, побудувати за даними тягову і протидіючу характеристики цього реле; визначити кут повороту на межі спрацювання; коефіцієнт повернення струму на герконі, керованому полем, що представляє собою шину зі струмом; вивчити інструкцію промислових герконів КЭМ-2 КЭМ-3 тощо. Для аналізу працездатності моделі реле необхідно побудувати протидіючу і тягову характеристики в одних координатах.

8.2 Загальні відомості

Для проведення випробувань на моделі герконового реле представлений стенд (рисунок 8.1), де Р1 – модель симетричного нейтрального замикаючого реле, що керується обмоткою зі струмом (рисунок 8.2). На рисунку 8.2 ескізу обмотки входять «великі» витки (1), їх кількість дорівнює 1000, і «малі» витки (2), їх кількість дорівнює 4; тоді загальна кількість витків, що створює спрацювання МРС, дорівнює 4000, або (1000х4).

На рисунку 8.1 показано:

- НЛ – сигнальна лампа, що сигналізує про замикання реле Р1 і Р2;
- П – вимикач;
- 1 – дослідний зразковий зразок;
- реле РПГ-011011УЗ,
- 2 – серійні дослідні зразки КЭМ-2, КЭМ-3.

Принципова електрична схема, встановлена на панелі стенду, показана на рисунку 8.4. Обмотка (виток) реле Р1 підключається до джерела постійної напруги до 200 В.

Виток (шина) реле Р2 (містить 600 витків) підключається до джерела постійної напруги 16 В. Вимірювальні прилади РА1, РА2, РVI, РV2 підключаються до лінійних затискачів згідно з рисунком 8.4. Лампа НL підключається через трансформатор 0...220 В – в коло комутації КС1 реле Р1, або реле Р2 підключається через трансформатор 0...16 В – в коло комутації КС2 перемикачем П. Вторинна обмотка трансформатора заземлена.

Для аналізу працездатності реле необхідно побудувати протидіючу та тягову характеристики, які наносяться на одній координатній площині і в однакових координатах.

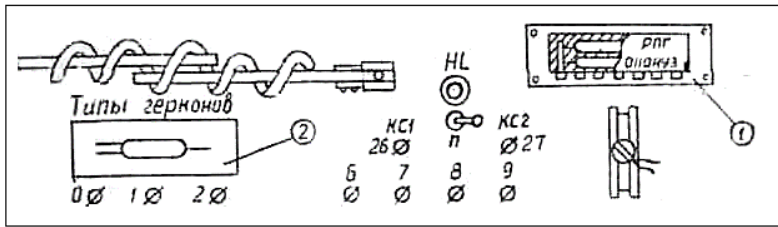


Рисунок 8.1 – Ескіз панелі з моделлю герконового реле

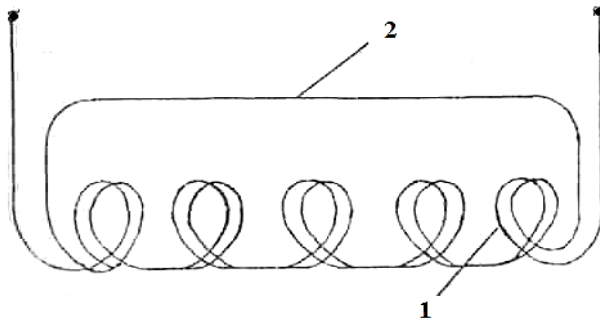


Рисунок 8.2 – Ескіз котушки моделі герконового реле

Для побудови протидіючої характеристики використовується формула [1]:

$$F_{\text{мех}} = C \cdot y,$$

де $F_{\text{мех}}$ – сила, що протидіє замиканню контактних деталей

(механічна сила пружності), Н;

y – початковий зазор між контактними деталями, м;

C – жорсткість контактних деталей, Н/м.

Якщо зробити припущення, що контактні деталі мають рівномірну жорсткість, то

$$C = (3 \cdot E \cdot j) / l^3, \quad (8.1)$$

де E – модуль пружності матеріалу контактної деталі, Н/м.

j – момент інерції перерізу контактної деталі, що визначається формулою

$$j = (b \cdot h^3) / 12,$$

де b – ширина контакту, м;

h – висота контакту, м;

l – плече сили, м, що визначається за формулою:

$$l = l_{KC} - a / 2.$$

де l_{KC} – довжина контактних деталей, м;

a – довжина перекриття контактної деталі при робочому зазорі, м;

Для розрахунків та побудови тягових характеристик використовується формула Максвелла [4]

$$F_{EM} = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S}; \quad \Phi = \frac{I \cdot \mu_0 S W}{l_{KC}}. \quad (8.2)$$

Тоді
$$F_{EM} = \frac{\mu_0^2 \cdot S^2 \cdot W^2}{2\mu_0 \cdot S_1 \cdot l_{KC}} \cdot I^2.$$

де $S = b \cdot h$ – перетин контакту, м² (див. рисунок 8.3);

$S_1 = a \cdot b$ – площа перекриття, м² (див. рисунок 8.3);

W – кількість витків котушки керування;

μ_0 – магнітна постійна, Гн / м;

μ – абсолютна магнітна проникність, Гн/м.

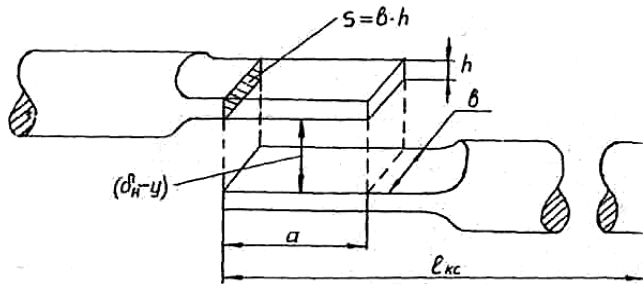


Рисунок 8.3 – Ескіз контактної площадки

8.3 Порядок виконання роботи

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен самостійно вивчити методичні вказівки і повторити розділ курсу про конструкції реле з магнітокерованими контактами:

– перед виконанням лабораторних робіт студент повинен самостійно вивчити методичні вказівки і повторити розділ курсу про герконові реле, а також розібратися з конструкцією моделі реле Р1 та Р2, РПГ-011011У3; а також промислових реле КЭМ-2, КЭМ-3;

– підготувати таблиці 8.1 та 8.2;

– зібрати схеми з реле Р1 і Р2, зображені на рисунку 8.3;

– для замикання моделі реле Р1 на контакт – деталі покласти фольгу, що також наблизить макет геркона до реального;

– товщину фольги виміряти мікрометром, що буде відповідати $\delta_0=0,01$ мм;

– регулятор схеми стенда вивести в крайнє ліве положення (положення 0). Перемикач 2 поставити в положення КС1 чи КС2 в залежності від того, яке реле Р1 чи Р2 досліджується;

– при дослідженні реле Р1 перемикач 2 поставити в положення КС1 і плавно підвищуючи напругу регулятором автотрансформатора Т, зняти показання вольтметра РV та амперметра РА1 (настільні прилади) при різних значеннях a та y . Почати дослідження необхідно при максимальних значень a та y ;

– значення a , y , δ , h , $l_{кк}$ вимірюються лінійкою. Різні значення Y виставляють за допомогою регуляторів положення на контакт-деталях;

– регулятори, що встановлені на контакт-деталях дозволяють також дослідити шляхом виставити максимальний розхил контакт-деталей δ_H , при якому можливий початок спрацювання геркона.

Отримані дані заносяться до таблиці 8.1.

8.3.1 Розрахувати жорсткість за формулою (8.1), де E взяти з таблиці 8.1, а значення l_{KC} виміряти на моделі реле P1. Потім, встановивши значення у від 0 до .10 мм (повітряний зазор контактної деталі), побудувати протилежну характеристику герконового реле $F_{MX} = f(y)$.

8.3.2 Експериментально визначити та побудувати тягову характеристику реле P1 $F_{MX} = f(x)$, залежність струму $I = f(x)$ та потужності $P = f(x)$.

8.3.3 Експериментально визначити та побудувати графіки струмової залежності струму $I = f(\alpha)$ та потужності $P = f(\alpha)$ для реле P2.

8.3.4 Визначити значення кута α на межі спрацьовування реле P2.

8.3.5 При дослідженні реле P2 встановити перемикач П в положення KC2 і плавно змінювати струм регулятором Т, знімаючи показання амперметра РА2 і вольтметра ПВ2 під час спрацьовування і відпускання реле P2. Виконайте ці вимірювання при різних значеннях кута α між поздовжньою віссю герконового реле та напрямком струму в шині.

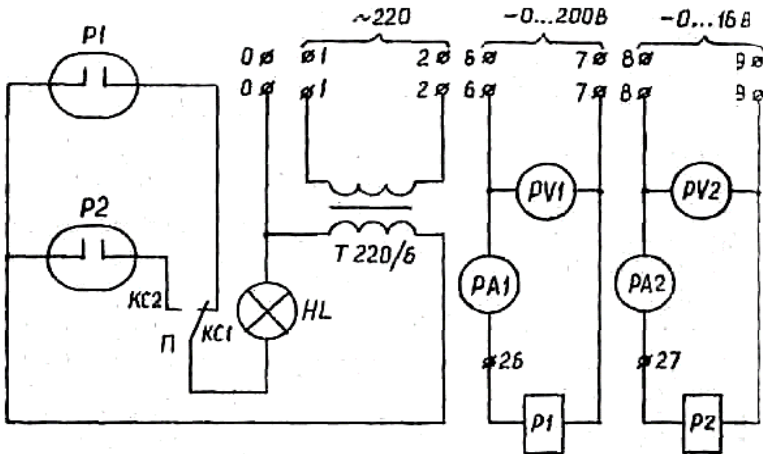


Рисунок 8.4 – Принципова електрична схема

Таблиця 8.1 – Данні вимірювань та розрахунків

№	Вимірювальні змінні								Розрахункові змінні				Постійні змінні
	y	U	I	a	b	h	l_{KC}	δ_0	Φ	F_{MX}	F_{EM}	P	
1													$C=4000$ Н/м^2 $E=1.36 \cdot 10^{11}$
2													
3													
1													$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ $\mu=65000$ для сплаву матеріалу
2													
3													
1													
2													
3													

8.3.6 Визначити межі робочого кута $\alpha_{пр}$. Результат запишіть у таблицю 8.2.

8.3.7 Визначити $(IW)_{спр}$, $(IW)_{відп}$, $K_{зг} = \frac{IW_{спр}}{IW_{зг}}$, побудувати графіки $(IW)_{спр} = f(\alpha)$, $I_{спр} = f(\alpha)$, $K_{зв} = f(\alpha)$, $P_{спр} = f(\alpha)$ залежностей.

Таблиця 8.2 – Данні вимірювань та розрахунків

№	Testing values					Calculated values				Constant values
	α	$I_{спр}$	$I_{зв}$	$U_{спр}$	$U_{зв}$	$IW_{спр}$	$IW_{зв}$	$K_{зв}$	$с_{спр}$	
1 2 3	90°									W=600
Сер										
1 2 3	75°									
Сер										
1 2 3	60°									
Сер										
1 2 3	Кут на межі спрацьовування									
Сер										
1 2 3	С									
Сер										

8.3.8 За результатами випробувань та розрахунків зробити висновки.

8.4 Вказівки з техніки безпеки

Всі переключення в схемі виконувати при виключеному автоматі QF. Чітко дотримувати інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку.

8.5 Контрольні питання

8.5.1. Що називається точкою рівноваги?

8.5.2. Що є причиною вібрації (брязкоту) при спрацьовуванні геркона?

8.5.3. Поясніть принципову різницю між процесом спрацьовування геркона та звичайного електромагнітного якірного реле?

8.5.4. Поясніть залежність МРС спрацьовування геркона від положення обмотки відносно робочого зазору.

8.5.5. Поясніть залежність струму спрацьовування $I_{спр}$ реле геркона від кута повороту повздовжньої осі геркона відносно повздовжньої осі струмопровідної шини.

8.5.6. Поясніть залежність МРС відпускання та зворотного коефіцієнту $K_{зв}$ від величини контактного перекриття.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Буль, Б. К. Электромеханические аппараты автоматики: учебник для вузов [Текст]: / Б. К. Буль, О. Б. Буль, В. А. Азанов и др.; под ред. Б. К. Буля. – М.: Высшая школа, 1987. – 162 с.
2. Диковский, Я. М. Магнитоуправляемые контакты [Текст]:/ Я. М. Диковский, И. И. Капралов. – М.: Энергия, 1970. – 152 с.
3. Жорняк Л. Б. Електричні апарати автоматики та керування / Л. Б. Жорняк, М. В. Антонова, В. В. Василевський.– Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022 - 414 с.
4. Клименко, Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс: навчальний посібник [Текст] / Б. В. Клименко. – Харків: Точка, 2012. – 340 с.
5. Коробков, Ю. С. Электрические аппараты автоматики [Текст]:/ Ю.С. Коробков, В. Д. Флора. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 344 с.
6. Розанов, Ю. К. Электрические и электронные аппараты [Текст] /Под ред. Ю. К. Розанова, Е. Г. Акимова и др. – М: Энергоатомиздат, 1998. – 160 с.
7. Снігірьов В. М. Електромеханічні апарати автоматики / В. М. Снігірьов, Л. Б. Жорняк. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016 –120 с.
8. Таев, И. С. Электрические аппараты автоматики и управления [Текст]/ И. С. Таев. – М.: Высшая школа, 1975. – 16 с.
9. Чунихин, А. А. Электрические аппараты [Текст]/ А. А. Чунихин. – М.; Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
10. <http://eir.zp.edu.ua/handle/123456789/488>
11. <https://zp.edu.ua/kafedra-elektrichnih-ta-elektronnih-aparativ>
12. <https://moodle.zp.edu.ua>
13. <http://library.zp.edu.ua>
14. <http://eir.zp.edu.ua>
15. <https://zp.edu.ua/kafedra-elektrichnih-ta-elektronnih-aparativ>